

Q63033  
181  
#2

# BREVET D'INVENTION

**CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION**11000 U.S. PTO  
09/810251  
03/19/01

## COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le **07 FEV. 2001**

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

**Martine PLANCHE**

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

SIEGE  
26 bis, rue de Saint Petersburg  
75800 PARIS cedex 08  
Téléphone : 01 53 04 53 04  
Télécopie : 01 42 93 59 30  
<http://www.inpi.fr>

**This Page Blank (uspto)**



26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08  
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

# BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI




N° 11354\*01

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 1/2

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

06 543 W 250 W

<b>REMISE DES PIÈCES</b> DATE <b>20 MARS 2000</b> LIEU <b>75 INPI PARIS</b> N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI <b>0003518</b> DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI <b>20 MARS 2000</b>		<b>1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE</b> À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE COMPAGNIE FINANCIERE ALCATEL Département PI Bernard LAMOUREUX 30 avenue Kléber 75116 PARIS	
<b>Vos références pour ce dossier</b> (facultatif) 102455/LA/SND/TPM			
<b>Confirmation d'un dépôt par télécopie</b> <input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie			
<b>2 NATURE DE LA DEMANDE</b>		<b>Cochez l'une des 4 cases suivantes</b>	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
Demande de brevet initiale		N°	Date
ou demande de certificat d'utilité initiale		N°	Date
Transformation d'une demande de brevet européen		<input type="checkbox"/>	Date
Demande de brevet initiale		N°	Date
<b>3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)</b> REGENERATEUR OPTIQUE SYNCHRONES PAR MODULATION D'INTENSITE ET MODULATION DE PHASE PAR EFFET KERR CROISE			
<b>4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ</b> <b>OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE</b> <b>LA DATE DE DÉPÔT D'UNE</b> <b>DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE</b>		Pays ou organisation Date N° Pays ou organisation Date N° Pays ou organisation Date N° <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
<b>5 DEMANDEUR</b>		<input type="checkbox"/> S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
Nom ou dénomination sociale		ALCATEL	
Prénoms			
Forme juridique		Société Anonyme	
N° SIREN		5.4.2.0.1.9.0.9.6	
Code APE-NAF			
Adresse	Rue	54, rue La Boétie	
	Code postal et ville	75008 PARIS	
Pays		FRANCE	
Nationalité		Française	
N° de téléphone (facultatif)			
N° de télécopie (facultatif)			
Adresse électronique (facultatif)			

REMISE DES PIÈCES DATE: <b>20 MARS 2000</b> LIEU: <b>75 INPI PARIS</b> N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI: <b>0003518</b>		Réservé à l'INPI	
<b>Vos références pour ce dossier :</b> <i>(facultatif)</i>		102455/LA/SND/TPM	
<b>6 MANDATAIRE</b>			
Nom		LAMOUREUX	
Prénom		Bernard	
Cabinet ou Société		Compagnie Financière Alcatel	
N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel		PG 8182	
Adresse	Rue	30 Avenue Kléber	
	Code postal et ville	75116	PARIS
N° de téléphone <i>(facultatif)</i>			
N° de télécopie <i>(facultatif)</i>			
Adresse électronique <i>(facultatif)</i>			
<b>7 INVENTEUR (S)</b>			
Les inventeurs sont les demandeurs		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée	
<b>8 RAPPORT DE RECHERCHE</b>		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)	
Établissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Paiement échelonné de la redevance		Paiement en trois versements, uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non	
<b>9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES</b>		Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention <i>(joindre un avis de non-imposition)</i> <input type="checkbox"/> Requête antérieurement à ce dépôt <i>(joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence):</i>	
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes			
<b>10 SIGNATURE</b> <del>DU DEMANDEUR</del> <del>XX</del> DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)		VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI  P. BERNOUJIS	
Bernard LAMOUREUX / LC 40 B  			

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg

75800 Paris Cedex 08


Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

**DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° .1./1..**

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

08 113 W 2260091

<b>Vos références pour ce dossier</b> <i>(facultatif)</i>		102455/LA/SND/TPM	
<b>N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL</b>		0003548	
<b>TITRE DE L'INVENTION</b> (200 caractères ou espaces maximum) REGENERATEUR OPTIQUE SYNCHRONES PAR MODULATION D'INTENSITE ET MODULATION DE PHASE PAR EFFET KERR CROISE			
<b>LE(S) DEMANDEUR(S) :</b>  Société anonyme <b>ALCATEL</b>			
<b>DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :</b> (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
<b>Nom</b>		LECLERC	
<b>Prénoms</b>		Olivier	
<b>Adresse</b>	<b>Rue</b>	37 rue de Liers	
	<b>Code postal et ville</b>	91240	SAINT MICHEL SUR ORGE, FRANCE
<b>Société d'appartenance</b> <i>(facultatif)</i>			
<b>Nom</b>		DESURVIRE	
<b>Prénoms</b>		Emmanuel	
<b>Adresse</b>	<b>Rue</b>	32 rue de la Butte au Prieur	
	<b>Code postal et ville</b>	91680	BRUYERES LE CHATEL, FRANCE
<b>Société d'appartenance</b> <i>(facultatif)</i>			
<b>Nom</b>			
<b>Prénoms</b>			
<b>Adresse</b>	<b>Rue</b>		
	<b>Code postal et ville</b>		
<b>Société d'appartenance</b> <i>(facultatif)</i>			
<b>DATE ET SIGNATURE(S)</b> <del>XXXXXX</del> <del>XXXXXX</del> <b>DU MANDATAIRE</b> (Nom et qualité du signataire)		20 mars 2000 Bernard LAMOUREUX 	

**This Page Blank (uspto)**

## REGENERATEUR OPTIQUE SYNCHRONE PAR MODULATION D'INTENSITE ET MODULATION DE PHASE PAR EFFET KERR CROISE

L'invention concerne les systèmes de transmission par fibre optique, notamment à multiplexage en longueur d'onde, et plus précisément, la régénération dans ces systèmes de transmission.

Il a été proposé, dans les systèmes de transmission à fibre optique à multiplexage en longueur d'onde, d'utiliser régulièrement une modulation synchrone des signaux; une telle modulation est de préférence optique, tout particulièrement pour les systèmes à hauts débits. Divers procédés ont été proposés pour assurer la synchronicité des différents canaux lors de la régénération : allocation de longueurs d'onde assurant une synchronicité à intervalles réguliers sur la liaison, application de retards, modulation à une fréquence multiple de la fréquence des signaux.

La modulation peut être une modulation d'intensité, une modulation de phase, ou une modulation d'intensité et de phase.

F. Devaux et autres, 20 Gbit/s operation of high efficiency InGaAs/InGaAsP MQW electroabsorption modulators with 1.2 V driven voltage, IEEE Photonics Techn. Lett., vol. 5 pages 1288-1290 (1993) décrit une modulation d'intensité avec un filtrage étroit, à l'aide d'un modulateur à électro-absorption.

Une autre modulation d'intensité est décrite dans M. Nakazawa et autres, Experimental demonstration of soliton data transmission over unlimited distance with soliton control in time and frequency domains, Electronics Letters, vol. 29 no. 9, pages 729-730; il est proposé dans ce document d'utiliser un modulateur d'intensité du type Mach-Zender à LiNbO<sub>3</sub>. O. Leclerc et autres, Polarisation independant InP push-pull Mach-Zender modulator for 20 Gbit/s solitons regeneration, Electronics Letters, vol. 34 no. 10, pages 1011-1013 (1998) décrit un modulateur d'intensité du type Mach-Zender à InP.

On connaît par ailleurs la modulation de phase par effet Kerr croisé entre les signaux transmis et une horloge se propageant dans une fibre Kerr. S. Bigo et O. Leclerc, Fundamental limits of all-optical synchronous phase regeneration through Kerr fiber, Proceedings d'ECOC'97, p. 311, Edimburg, 22-25 Sep, est un exemple de mise en œuvre d'une telle technique ; cet article montre que la modulation de phase par effet Kerr peut être efficace, même en présence de bruit ou de glissement entre

les signaux transmis et l'horloge de modulation. O. Leclerc et autres, 2 x 20 Gbit/s, 3500 km regenerated WDM soliton transmission with all-optical Kerr fibre modulation, vol. 34 no. 2, pages 199-201 (1998) démontre la faisabilité d'une modulation de phase par effet Kerr dans des systèmes de transmission à

5 multiplexage en longueur d'onde.

Il est aussi connu de procéder à une modulation de phase et à une modulation d'intensité dans un régénérateur. P. Brindel et autres, "Black-box" optical regenerator for RZ transmission systems, Electronics Letters, vol. 35 no. 6 (1999), pp.480-481 propose une modulation d'intensité puis de phase séparées. B. Dany et  
10 autres, Transoceanic 4x40 Gbit/s system combining dispersion-managed soliton transmission and new "black-box" in-line optical regeneration, Electronics Letters, vol. 35 no. 5 (1999), pp. 418-420 applique la même technique de régénération à un système de transmission à quatre canaux utilisant une propagation soliton à gestion de dispersion, avec une séparation des canaux et un régénérateur par canal.

15 FR-A-2 759 830 et la demande de brevet française déposée le 10 novembre 1999 sous le numéro 9914117, Synchronisation des canaux par fibre dispersive dans un système de transmission à multiplexage en longueurs d'onde, proposent une régénération synchrone par modulation d'intensité, puis par modulation de phase dans des modulateurs distincts.

20 EP-A-0 843 917 propose d'utiliser un miroir optique non-linéaire en boucle à deux entrées de contrôle pour la modulation de phase de signaux optiques. Il s'agit d'un NOLM à 2 entrées de contrôle ; il est donc l'équivalent fibré d'un modulateur Mach-Zehnder à deux électrodes et permet le contrôle indépendant des modulations (profondeur) d'intensité et de phase.

25 Ces solutions présentent des inconvénients. La séparation de la modulation de phase et de la modulation d'intensité est une solution complexe et donc coûteuse. La technique du miroir non-linéaire en boucle ne permet pas de contrôler l'accumulation du bruit ou d'ondes dispersives : cette solution de modulation conjointe limite la longueur totale du système de transmission.

30 L'invention propose une solution qui pallie ces différents inconvénients ; elle propose un régénérateur mettant en œuvre une modulation d'intensité et une modulation de phase, avec un minimum de composants matériels, et un fonctionnement simple.



Plus précisément, l'invention propose un régénérateur pour un système de transmission optique comprenant un multiplexeur couplant avec les signaux transmis une lumière continue, un modulateur d'intensité modulant les signaux transmis et la lumière continue et une fibre Kerr modulant en phase les signaux transmis par modulation de phase croisée avec la lumière continue modulée en intensité.

Dans un mode de réalisation, le régénérateur présente un filtre après la fibre Kerr filtrant la lumière continue.

Le modulateur d'intensité est avantageusement un modulateur Mach-Zender.

Dans un mode de réalisation, la fibre Kerr présente un indice de non-linéarité supérieur à  $2.7 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$ . Il est aussi avantageux que la dispersion chromatique de la fibre Kerr s'annule pour une longueur d'onde médiane de la longueur d'onde des signaux transmis et de la longueur d'onde de la lumière continue.

De préférence, la profondeur de modulation d'intensité est supérieure à 1 dB, voire supérieure à 3 dB.

L'invention propose aussi un régénérateur pour un système de transmission optique à multiplexage en longueur d'onde comprenant

- un démultiplexeur fournissant en sortie des canaux démultiplexés,
- pour chaque canal démultiplexé, un multiplexeur couplant avec les signaux du canal une lumière continue, un modulateur d'intensité modulant les signaux du canal et la lumière continue et une fibre Kerr modulant en phase les signaux transmis par modulation de phase croisée avec la lumière continue modulée en intensité, et
- un multiplexeur recevant les signaux modulés en phase de chaque canal et fournissant un signal multiplexé.

Dans un mode de réalisation, la lumière continue est fournie par une source unique. On peut dans ce cas prévoir un amplificateur amplifiant les signaux de la source.

Dans un autre mode de réalisation, le modulateur d'intensité est un modulateur Mach-Zender. Il est aussi préférable que la fibre Kerr présente un indice de non-linéarité supérieur à  $2.7 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$ .

Dans un mode de réalisation, la dispersion chromatique de la fibre Kerr d'un canal s'annule pour une longueur d'onde médiane de la longueur d'onde des signaux du canal et de la longueur d'onde de la lumière continue.

De préférence, la profondeur de modulation d'intensité dans un modulateur d'intensité est supérieure à 1 dB, voire supérieure à 3 dB.

L'invention propose encore un système de transmission à fibre optique, comprenant un régénérateur selon l'une des revendications précédentes.

- 5 Elle propose enfin un procédé de régénération optique, comprenant :
- le couplage avec les signaux transmis d'une lumière continue;
  - une modulation d'intensité conjointe des signaux transmis et de la lumière continue;
  - une modulation de phase des signaux transmis par modulation de phase croisée avec la lumière continue modulée en intensité.

- 10 De préférence, la modulation d'intensité s'effectue à une profondeur de modulation supérieure à 1 dB.

Dans un autre mode de mise en œuvre du procédé, la modulation de phase s'effectue à une profondeur de modulation de 3 deg.

- 15 Il est avantageux de prévoir une étape de filtrage de la lumière continue modulée en intensité, après l'étape de modulation.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description qui suit de modes de réalisation de l'invention, donnés à titre d'exemple et en référence aux dessins annexés, qui montrent

- 20
- figure 1, une représentation schématique d'un régénérateur selon l'invention, dans un mode de réalisation monocanal ;
  - figure 2, une représentation schématique d'un régénérateur selon l'invention, dans un mode de réalisation à multiplexage en longueur d'onde ;
  - figure 3, un graphe du facteur de qualité en fonction de la distance,
- 25 pour un système de transmission utilisant des régénérateurs selon l'invention et selon l'état de la technique.

- 30 L'invention propose d'associer une modulation d'intensité et une modulation de phase par effet Kerr croisé entre les signaux et une horloge. Pour générer une horloge optique synchrone avec les signaux transmis, elle propose de moduler en intensité un signal continu, dans le modulateur d'intensité. Cette solution permet de générer simplement et avec précision une horloge optique qui se propage avec les signaux transmis et qui peut être utilisée pour la modulation de phase dans une fibre Kerr.

La figure 1 est une représentation schématique d'un régénérateur selon l'invention, dans un mode de réalisation monocanal ; le régénérateur de la figure 1 présente, dans le sens de transmission des signaux à la longueur d'onde  $\lambda_s$ , un multiplexeur 2 qui couple, dans la même fibre que les signaux transmis, la lumière d'une source continue 4 à une longueur d'onde  $\lambda_c$  différente de la longueur d'onde  $\lambda_s$  des signaux transmis. La source peut être une source préamplifiée, le cas échéant à forte puissance ( "boostée" en langue anglaise) pour augmenter l'intensité du signal d'horloge dans le modulateur de phase. Le régénérateur présente ensuite un modulateur d'intensité 6 ; le modulateur d'intensité reçoit en entrée les signaux reçus en entrée du régénérateur, ainsi que la lumière continue couplée par le multiplexeur ; il reçoit par ailleurs sur son entrée de modulation 8 une horloge de modulation, qui dans l'exemple est une horloge radiofréquence. On n'a pas représenté à la figure 1 le dispositif de récupération d'horloge, qui peut être d'un type connu en soi. Dans l'exemple de la figure, le modulateur d'intensité 6 est un modulateur réalisé sur une puce, tel qu'un modulateur Mach-Zender InP. On peut aussi utiliser un modulateur d'un autre type. On obtient en sortie du modulateur d'une part les signaux transmis à la longueur d'onde  $\lambda_s$ , qui ont subi une modulation d'intensité, et d'autre part une horloge optique à la longueur d'onde  $\lambda_c$ , obtenue par modulation de la lumière continue dans le modulateur d'intensité. Il apparaît clairement que l'horloge ainsi obtenue est parfaitement synchrone avec les signaux transmis ; elle est en effet modulée en intensité en même temps que ces signaux. De ce point de vue, le modulateur d'intensité joue à la fois selon l'invention le rôle de modulation des signaux, mais aussi le rôle de génération d'une horloge parfaitement synchrone. Il suffit pour assurer ces deux fonctions que la longueur d'onde  $\lambda_c$  du signal continu soit choisie dans la bande passante du modulateur ; cette contrainte est facile à satisfaire, notamment pour un modulateur d'intensité du type InP, qui permet classiquement une modulation sur une bande de 15 nm. La profondeur de modulation dans le modulateur d'intensité est entre 1 et 20dB typiquement : celle-ci dépend notamment de la largeur du filtre associé et de la "qualité" du signal à régénérer; elle n'impacte pas notablement la qualité de la modulation de phase induite par effet Kerr; il est toutefois préférable qu'elle excède des valeurs de l'ordre de 1 dB, voire de 3dB.

En sortie du modulateur d'intensité, le régénérateur présente une fibre Kerr 10 ; la propagation conjointe dans cette fibre des signaux à la longueur d'onde  $\lambda_s$  et de l'horloge à la longueur d'onde  $\lambda_c$  induit une modulation de phase des signaux par effet Kerr croisé. La fibre 10 est choisie de sorte à présenter les non-

5 linéarités élevées favorisant l'effet Kerr ; on peut notamment choisir pour la fibre 10 une fibre présentant un indice de non-linéarité  $n_2$  supérieur à  $2.7 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$  ; il peut s'agir typiquement d'une fibre DSF/SMF ou encore d'une fibre chalcogénide. Il est préférable dans le modulateur de phase de limiter les effets du glissement entre les signaux transmis et l'horloge. De ce point de vue, la dispersion chromatique de la

10 fibre est avantageusement choisie de sorte à être nulle pour une longueur d'onde  $(\lambda_s + \lambda_c)/2$  médiane de la longueur d'onde des signaux transmis et de la longueur d'onde de l'horloge obtenue par modulation d'intensité. Ce choix de la fibre Kerr permet de limiter le glissement entre l'horloge et les signaux modulés le long de la fibre de modulation 10.

15 En sortie de la fibre de modulation de phase, on obtient des signaux à la longueur d'onde  $\lambda_s$ , qui ont subi une modulation d'intensité, puis une modulation de phase. Le régénérateur présente encore un filtre 12 permettant de filtrer le signal d'horloge à la longueur d'onde  $\lambda_c$ . Selon la position spectrale de la longueur d'onde continue par rapport à la longueur d'onde des signaux, le filtre peut être un filtre

20 passe-bande, un filtre passe-haut ou un filtre passe-bas. En sortie du filtre, on n'obtient plus que les signaux transmis, qui ont subi une modulation d'intensité, suivie d'une modulation de phase.

L'invention présente par rapport aux dispositifs de l'état de la technique les avantages suivants. Par rapport à une modulation d'intensité de l'état de la technique,

25 elle permet de procéder à une modulation de phase, sans augmenter de façon significative la complexité du régénérateur. Les seuls composants supplémentaires nécessaires sont une source continue, un multiplexeur, une fibre Kerr et un filtre permettant de filtrer la lumière continue. La séparation entre la modulation d'intensité et la modulation de phase permet de générer lors de la modulation d'intensité

30 l'horloge pour la modulation de phase, comme expliqué plus haut. L'ajout à la modulation d'intensité d'une modulation de phase permet d'améliorer les performances du régénérateur, comme expliqué en référence à la figure 3.

La figure 2 est une représentation schématique d'un régénérateur selon l'invention, dans un mode de réalisation à multiplexage en longueur d'onde ; on considère dans l'exemple de la figure un système de transmission à quatre canaux; le régénérateur comprend un démultiplexeur 14, qui reçoit en entrée les signaux  
 5 multiplexés, et qui fournit sur quatre sortie les signaux aux longueurs d'onde  $\lambda_{s1}$  à  $\lambda_{s4}$  des différents canaux. Pour chaque canal, le régénérateur de la figure 2 présente comme celui de la figure 2 un multiplexeur 16<sub>i</sub> pour l'injection d'une source continue, un modulateur d'intensité 18<sub>i</sub> et une fibre Kerr 20<sub>i</sub>. Les signaux sortant de la fibre Kerr sont appliqués à une entrée d'un multiplexeur 22.

10 A la différence d'une simple multiplication du dispositif de la figure 1, on utilise dans l'exemple de la figure 2 une source unique 24 pour les signaux à la longueur d'onde continue  $\lambda_c$ . La sortie de cette source est amplifiée dans un amplificateur 26 et est appliquée aux différents multiplexeurs 16<sub>i</sub>. Par ailleurs, le multiplexeur 22 assure le filtrage de l'horloge de modulation de phase, et il n'est  
 15 donc pas nécessaire de prévoir dans chaque branche du régénérateur un filtre du type du filtre 12 de la figure 1.

Le modulateur d'intensité et le modulateur de phase peuvent être réalisés comme expliqué en référence à la figure 1; il est notamment possible de choisir la fibre Kerr de chaque canal de sorte à ce qu'elle présente une dispersion chromatique  
 20 nulle pour une longueur d'onde  $(\lambda_{si} + \lambda_c)/2$  médiane de la longueur d'onde des signaux du canal en cause et de la longueur d'onde de l'horloge obtenue par modulation d'intensité.

Comme dans le cas de la figure 1, on n'a pas représenté sur la figure 2 le dispositif de génération de l'horloge pour la modulation d'intensité. On peut utiliser  
 25 une horloge unique si les canaux sont synchrones, ou comme représenté schématiquement à la figure, des horloges distinctes.

Dans les deux modes de réalisation, la puissance de la source continue dépend de la puissance désirée pour l'horloge utilisée dans la modulation de phase. Un décalage en phase de l'ordre de  $3^\circ$  entre l'horloge et le signal transmis à travers  
 30 la fibre Kerr est approprié : il correspond à une profondeur de modulation de l'ordre de  $\pi/50$ . Dans une fibre en silice, un tel décalage est susceptible d'être obtenu avec une horloge présentant une puissance crête de l'ordre de 2mW ou + 3 dBm. Cette valeur permet de calculer la puissance de la source continue, compte tenu des pertes

dans le modulateur d'intensité. Avec une valeur typique pour un modulateur Mach-Zender InP de l'ordre de 13 dB, on obtient une puissance de source à coupler dans la fibre de l'ordre de 16 dBm. Cette puissance peut effectivement être obtenue à l'aide d'une source, le cas échéant préamplifiée et/ou boostée. Il est possible de réduire les pertes à travers le modulateur, notamment en prévoyant des tronçons de fibres coniques en entrée et en sortie du modulateur, pour réduire les pertes d'insertion. On peut ainsi diminuer de 3 à 6 dB la puissance de la pompe continue.

Dans une configuration à quatre canaux, on trouve avec les mêmes hypothèses une puissance de source de l'ordre de + 21 dBm. De nouveau, cette puissance est susceptible d'être obtenue avec une source semi-conductrice, le cas échéant associée à un amplificateur.

L'utilisation pour la modulation de phase d'une fibre chalcogénide présentant des non-linéarités plus importantes permet aussi de diminuer la puissance de l'horloge de modulation de phase, et donc la puissance de la source continue injectée dans le modulateur d'intensité. De nouveau, la diminution est de l'ordre de 3 à 6 dB.

La figure 3 est un graphe du facteur de qualité en fonction de la distance en km, pour un système de transmission utilisant des régénérateurs selon l'invention et selon l'état de la technique. On a porté sur cette figure en traits gras le facteur de qualité obtenu pour une régénération assurée simplement par modulation de phase par effet Kerr; on a porté en traits interrompus le facteur de qualité obtenu pour une régénération assurée simplement par modulation d'intensité. Enfin, apparaît en traits continus avec des carrés le facteur de qualité obtenu à l'aide de régénérateurs selon l'invention. Pour obtenir les résultats de la figure 3, on a considéré des signaux solitons monocanaux. La distance entre amplificateurs dans le système de transmission est de 45 km, et la distance entre régénérateurs est de 90 km, comme dans l'expérience décrite dans l'article précité de S. Bigo et O. Leclerc. La modulation d'intensité est une modulation avec une profondeur de modulation de 3 dB, et le filtre est un filtre de 0,7 nm de bande passante. La puissance de l'horloge est fixée à 3 dBm, ce qui conduit à une modulation de phase de 5°. Pour chaque configuration possible – modulation de phase seule, modulation d'intensité, ou modulation de phase et d'intensité – on a optimisé le système de transmission, en termes de puissance de sortie des amplificateurs.

La figure montre que le facteur de qualité dans le cas de la seule modulation de phase par effet Kerr croisé décroît avec la distance, pour des longueurs supérieures à 7500 km. Dans le cas d'une modulation d'intensité, le facteur Q tend vers une valeur asymptotique de l'ordre de 22 pour des distances de l'ordre de 15000 km. La modulation selon l'invention permet d'atteindre des valeurs asymptotiques largement supérieures, qui sont de l'ordre de 35.

Dans un système de transmission à multiplexage en longueur d'onde à signaux solitons, un avantage supplémentaire de la modulation de phase est de limiter la gigue des signaux, et donc de limiter les effets des collisions entre les solitons des canaux voisins.

Bien entendu, la présente invention n'est pas limitée aux exemples et modes de réalisation décrits et représentés, mais elle est susceptible de nombreuses variantes accessibles à l'homme de l'art. Il est clair que l'on peut utiliser des sources de lumière continue différentes pour les différents canaux du multiplex, notamment dans le cas où le nombre de canaux augmente. Les exemples de la figure 3 sont donnés pour des signaux solitons : l'invention s'applique aussi à d'autres types de signaux RZ ou autres. Dans un système de transmission à multiplexage en longueurs d'onde, des canaux synchrones peuvent être modulés conjointement en phase et en intensité; on peut alors utiliser le régénérateur de la figure 1 si tous les canaux sont synchrones. Alternativement, on peut faire passer dans une branche du régénérateur de la figure 2 plusieurs canaux synchrones.

## REVENDICATIONS


1. Un régénérateur pour un système de transmission optique comprenant un multiplexeur (2) couplant avec les signaux transmis une lumière continue, un modulateur d'intensité (6) modulant les signaux transmis et la lumière continue et une fibre Kerr (10) modulant en phase les signaux transmis par modulation de phase croisée avec la lumière continue modulée en intensité.
2. Le régénérateur de la revendication 1, caractérisé par un filtre (12) après la fibre Kerr filtrant la lumière continue.
3. Le régénérateur de la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le modulateur d'intensité est un modulateur Mach-Zender.
4. Le régénérateur de la revendication 1, 2 ou 3, caractérisé en ce que la fibre Kerr présente un indice de non-linéarité supérieur à  $2.7.10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$ .
5. Le régénérateur de l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que la dispersion chromatique de la fibre Kerr s'annule pour une longueur d'onde médiane de la longueur d'onde des signaux transmis et de la longueur d'onde de la lumière continue.
6. Le régénérateur de l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que la profondeur de modulation d'intensité est supérieure à 1 dB, de préférence supérieure à 3 dB.
7. Un régénérateur pour un système de transmission optique à multiplexage en longueur d'onde comprenant
  - un démultiplexeur (14) fournissant en sortie des canaux démultiplexés,
  - pour chaque canal démultiplexé, un multiplexeur (16<sub>i</sub>) couplant avec les signaux du canal une lumière continue, un modulateur d'intensité (18<sub>i</sub>) modulant les signaux du canal et la lumière continue et une fibre Kerr (20<sub>i</sub>) modulant en phase les signaux transmis par modulation de phase croisée



avec la lumière continue modulée en intensité, et

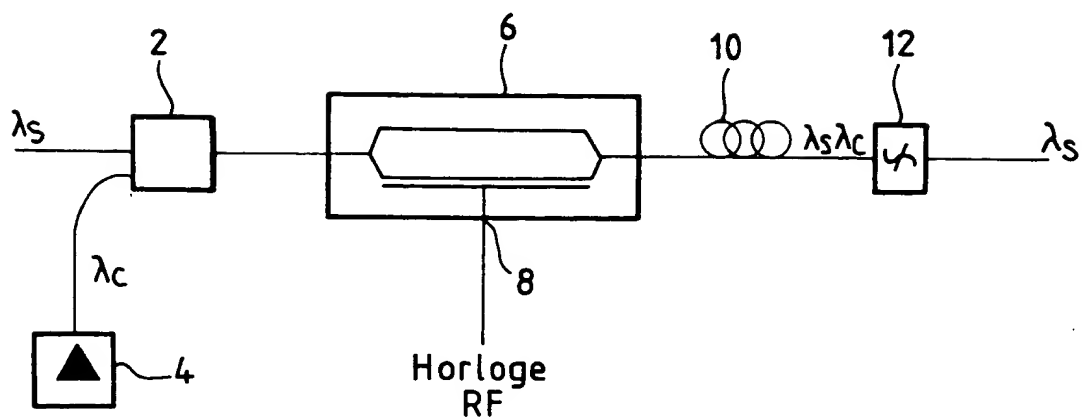
- un multiplexeur (22) recevant les signaux modulés en phase de chaque canal et fournissant un signal multiplexé.

- 5 8. Le régénérateur de la revendication 7, caractérisé en ce que la lumière continue est fournie par une source unique (24).
9. Le régénérateur de la revendication 8, caractérisé par un amplificateur (26) amplifiant les signaux de la source.
10. Le régénérateur de la revendication 7, 8 ou 9, caractérisé en ce que le modulateur d'intensité est un modulateur Mach-Zender.
- 10 11. Le régénérateur de l'une des revendications 7 à 10, caractérisé en ce que la fibre Kerr présente un indice de non-linéarité supérieur à  $2.7.10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$ .
12. Le régénérateur de l'une des revendications 7 à 11, caractérisé en ce que la dispersion chromatique de la fibre Kerr d'un canal s'annule pour une longueur d'onde médiane de la longueur d'onde des signaux du canal et de la longueur d'onde de la lumière continue.
- 15 13. Le régénérateur de l'une des revendications 7 à 12, caractérisé en ce que la profondeur de modulation d'intensité dans un modulateur d'intensité est supérieure à 1 dB, de préférence supérieure à 3 dB.
14. Un système de transmission à fibre optique, comprenant un régénérateur selon l'une des revendications précédentes.
- 20 15. Un procédé de régénération optique, comprenant :
- le couplage avec les signaux transmis d'une lumière continue;
  - une modulation d'intensité conjointe des signaux transmis et de la lumière continue;
  - une modulation de phase des signaux transmis par modulation de phase croisée avec la lumière continue modulée en intensité.
- 25

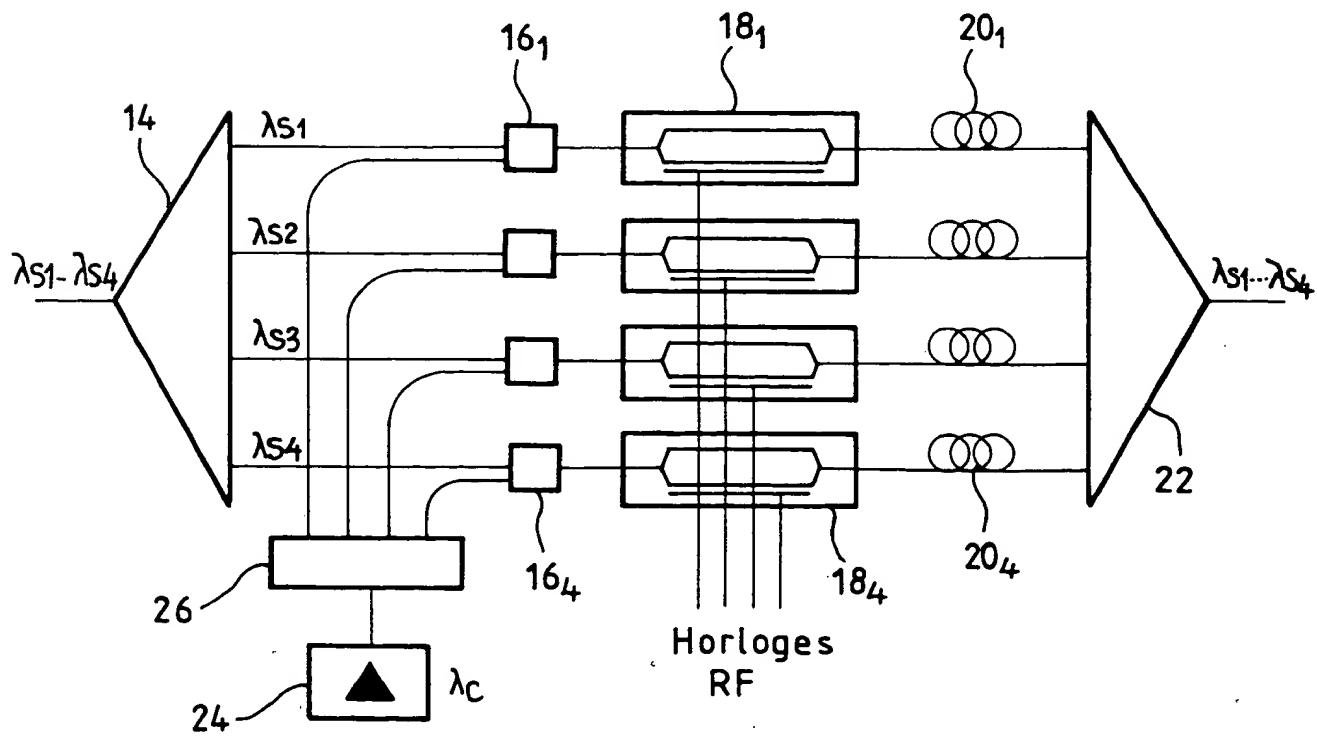
- 
- 16.** Le procédé de la revendication 15, caractérisé en ce que la modulation d'intensité s'effectue à une profondeur de modulation supérieure à 1dB.
- 17.** Le procédé de la revendication 16, caractérisé en ce que la modulation de phase s'effectue à une profondeur de modulation de 3 deg.
- 5 **18.** Le procédé de la revendication 13, 14 ou 15, caractérisé par une étape de filtrage de la lumière continue modulée en intensité, après l'étape de modulation.

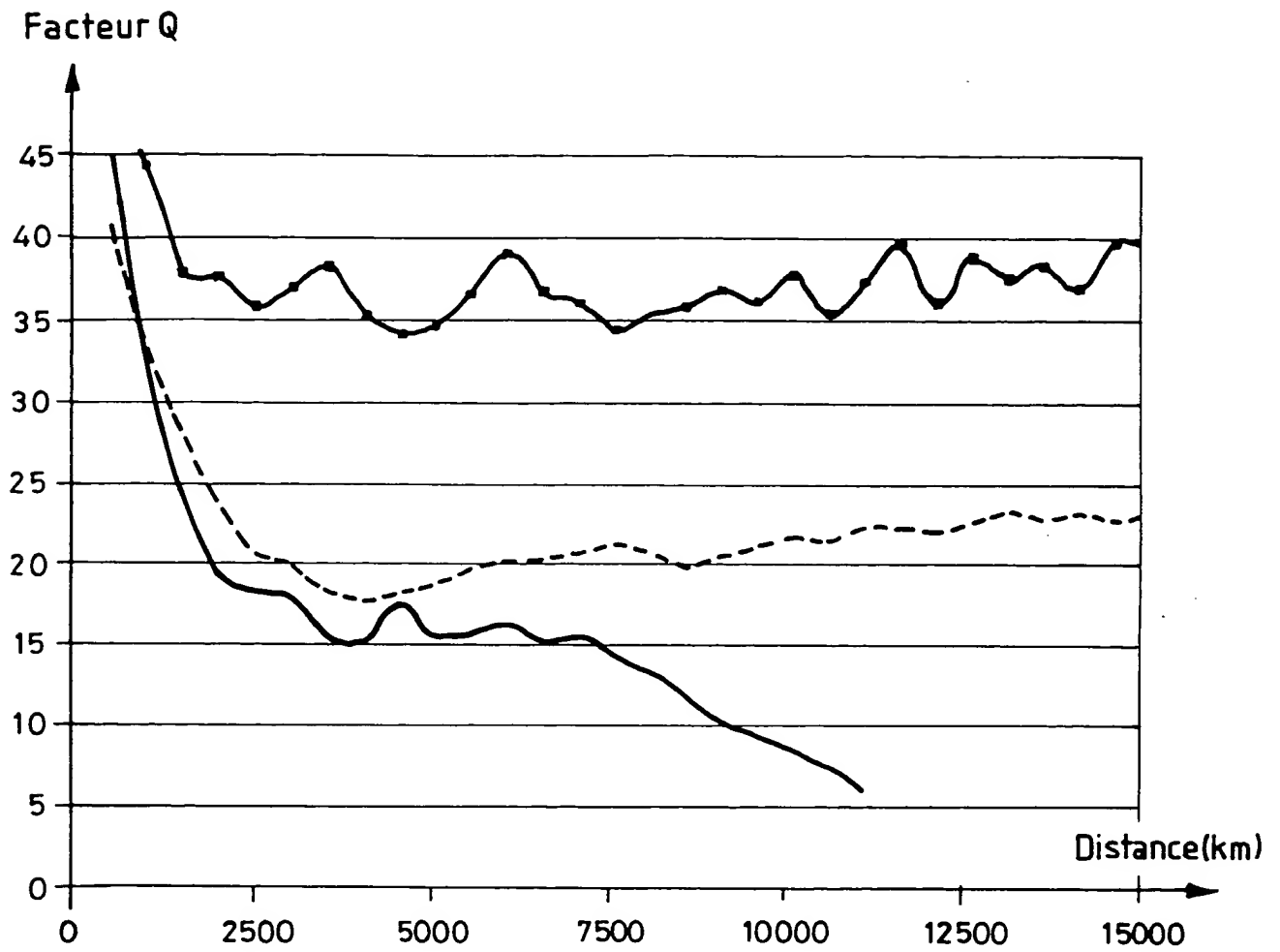
1/2

FIG\_1



FIG\_2



FIG\_3